

# КВАЗИУСТАНОВИВШИЕСЯ ПРОЦЕССЫ ПРИ РЕЛЕЙНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ТОКА В ДВИГАТЕЛЯХ СМЕШАННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Л. И. СКЛЯР, Р. К. ГАЧИК, В. М. ЖМУРОВСКИЙ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Существует целый ряд механизмов, оборудованных двигателями постоянного тока смешанного возбуждения, где требуется регулировать или ограничивать ток якоря (момент) двигателя. Применение для этих целей релейных систем регулирования обусловлено такими известными преимуществами релейных систем как высокое быстродействие, большой диапазон регулирования, простота и т. д. Особенностью релейных систем автоматического регулирования САР тока двигателей смешанного возбуждения является наличие двух магнитно связанных контуров возбуждения двигателя и относительно малой постоянной времени якорной цепи. В статье дано описание двигателя смешанного возбуждения как объекта дискретного регулирования и обоснованы допустимые упрощения, позволяющие в первом приближении определить параметры квазиустановившихся процессов известными методами.

На рис. 1 представлена структурная схема системы регулирования тока двигателя и статическая характеристика релейного элемента, где РЭ — релейный элемент, включающий в себя тиристорный преобразователь;

$W_d$  — передаточная функция электродвигателя;

ЗЗ — звено запаздывания;

ИЭ — импульсный элемент;

$i_0$  — ток уставки;

$U_d$  — напряжение двигателя.

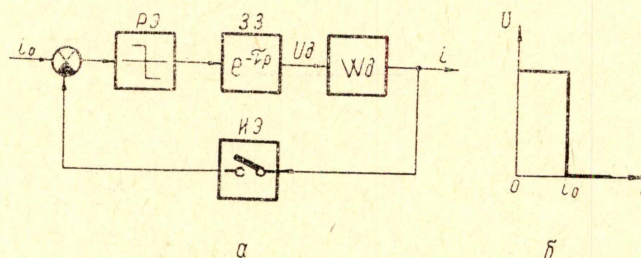


Рис. 1.

Если ток  $i < i_0$ , то РЭ включен, если ток  $i > i_0$ , то РЭ выключен. Включение в цепь обратной связи импульсного элемента ИЭ, замыкающегося кратковременно с высокой частотой, исключает влияние гистерезиса статической характеристики реального релейного элемента РЭ. Технически это реализуется применением датчиков тока якоря [1], ко-



которые преобразуют непрерывный входной сигнал в прямоугольные импульсы напряжения высокой частоты, или применением в качестве устройства сравнения коммутируемых с высокой частотой компараторов [2].

Схемное запаздывание  $\tau$ , обусловленное устройствами канала регулирования, учитывается условным звеном запаздывания.

Для исследования электромагнитных процессов в двигателе составим схему замещения (рис. 2), где

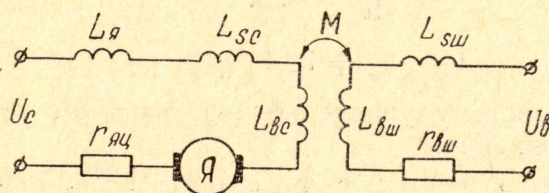


Рис. 2

$L_{я}$  — индуктивность обмотки якоря двигателя с учетом добавочных полюсов;

$L_{вс}, L_{вш}$  — индуктивность намагничивания серийной и шунтовой обмоток возбуждения соответственно;

$L_{sc}, L_{ssh}$  — индуктивность рассеяния серийной и шунтовой обмоток возбуждения соответственно;

$r_{яц}$  — активное сопротивление якорной цепи;

$r_{вш}$  — активное сопротивление шунтовой обмотки возбуждения;

$U_c, U_b$  — напряжение питания якоря и обмотки возбуждения соответственно.

При импульсном регулировании тока двигателей необходимо учитывать влияние вихревых токов. Поэтому, учитывая влияние вихревых токов с помощью короткозамкнутого контура без потоков рассеяния и используя теорию приведенного трансформатора, можно преобразовать схему рис. 2 в схему рис. 3, где

$L_{яц} = L_{я} + L_{вс} + L_{sc}$ ,  $r_{яц}$  — соответственно индуктивность и активное сопротивление якорной цепи;

$L_{\mu}$  — индуктивность намагничивающего контура;

$L'_{ssh}, r'_{вш}$  — соответственно приведенные индуктивность рассеяния и активное сопротивление шунтовой обмотки возбуждения;

$r'_k$  — приведенное активное сопротивление контура вихревых токов;

$U_c, U'_b$  — соответственно напряжение питания якоря и приведенное напряжение питания обмотки возбуждения;

$i_{я}, i_{\mu}, i_k, i_b$  — соответственно токи якоря, намагничивающего контура, короткозамкнутого контура вихревых токов и шунтовой обмотки возбуждения.

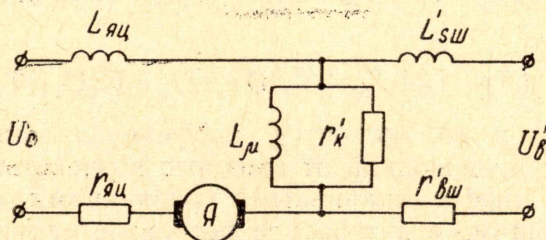


Рис. 3.



Приведенная схема (рис. 3) для случая заторможенного двигателя может быть описана следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} L_{яц} \frac{di_{я}}{dt} + L_{\mu} \frac{di_{\mu}}{dt} + r_{яц} i_{я} &= U_c \\ L'_{сш} \frac{di_{в}}{dt} - L_{\mu} \frac{di_{\mu}}{dt} + r'_{вш} i_{в} &= U'_в \\ L_{\mu} \frac{di_{\mu}}{dt} &= i_{к} r_{к}' \\ i_{я} &= i_{в} + i_{\mu} + i_{к} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Преобразуя систему уравнений (1), получим следующее дифференциальное уравнение:

$$[T_{я} T_{к} T_{с} D^3 + (T_{я} T_{с} + T_{я} T_{к} + T_{\mu s} T_{я} + T_{с} T_{к} + T_{\mu} T_{с}) D^2 + (T_{я} + T_{с} + T_{к} + T_{\mu s} + T_{\mu}) D + 1] i_{я} = K_c U_c [T_{с} T_{к} D^2 + (T_{с} + T_{к} + T_{\mu s}) D + 1 + K_{в} T_{\mu} D U'_в], \quad (2)$$

где

$$T_{я} = \frac{L_{яц}}{r_{яц}}; T_{\mu} = \frac{L_{\mu}}{r_{яц}}; T_{с} = \frac{L'_{сш}}{r'_{вш}}; T_{\mu s} = \frac{L_{\mu}}{r'_{вш}}; T_{к} = \frac{L_{\mu}}{r_{к}'}; K_c = \frac{1}{r_{яц}}; K_{в} = \frac{1}{r'_{вш}}; D = \frac{d}{dt}.$$

При импульсном напряжении питания якоря и неизменном напряжении питания шунтовой обмотки возбуждения уравнение (2) примет вид:

$$[T_{я} T_{с} T_{к} D^3 + (T_{я} T_{с} + T_{я} T_{к} + T_{\mu s} T_{я} + T_{с} T_{к} + T_{\mu} T_{с}) D^2 + (T_{я} + T_{с} + T_{к} + T_{\mu s} + T_{\mu}) D + 1] i_{я} = K_c U_c [T_{с} T_{к} D^2 + (T_{с} + T_{к} + T_{\mu s}) D + 1]. \quad (3)$$

В настоящее время в литературе отсутствуют методы исследования релейных систем, линейная часть которых описывается дифференциальным уравнением третьего порядка с производной от входного воздействия. Поэтому в данной работе для исследования квазиустановившихся режимов была использована электронная аналоговая моделирующая установка МН-7. Была набрана передаточная функция двигателя и система регулирования, соответствующая структурной схеме системы рис. 1.

Для определения возможности использования ЭВМ для исследования таких систем существующими методами проведены исследования на электронной модели этой же системы, но в схеме замещения двигателя пренебрегали индуктивностью рассеяния шунтовой обмотки возбуждения или влиянием контура вихревых токов. При этом уравнение (3) преобразуется в:

а) при  $L'_{сш} = 0$

$$[(T_{я} T_{к} + T_{\mu s} T_{я}) D^2 + (T_{я} + T_{к} + T_{\mu s} + T_{\mu}) D + 1] i_{я} = K_c U_c [(T_{к} + T_{\mu s}) D + 1], \quad (4)$$

б) при  $r'_{к} = \infty$

$$[(T_{я} T_{с} + T_{\mu s} T_{я}) D^2 + (T_{я} + T_{с} + T_{\mu s} + T_{\mu}) D + 1] i_{я} = K_c U_c [(T_{с} + T_{\mu s}) D + 1] \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) являются дифференциальными уравнениями второго порядка с производной от входного воздействия. Системы, описываемые такими дифференциальными уравнениями, могут быть исследованы существующими в литературе методами, например, методом фазовой плоскости.



Результаты исследования на МН-7 квазиустановившихся режимов в описанной системе представлены в табл. 1, где

$i_{\min}$ ,  $i_{\max}$  — соответственно минимальный и максимальный токи электродвигателя в амперах;

$f$  — частота пульсаций тока электродвигателя в герцах;

$\tau$  — запаздывание в системе в МКСЕК.

В качестве исследуемого электродвигателя был выбран электродвигатель типа П-52.

Т а б л и ц а 1

		Точное решение	Решение без учета $L'_{сш}$	Решение без учета $\Gamma_K'$
$\tau = 700$				
$i_0 = 34,4 \text{ A}$	$i_{\min}$	34,4	34,4	34,4
	$i_{\max}$	52	52	54,5
	$f$	57	66,5	133
$i_0 = 60 \text{ A}$	$i_{\min}$	60	60	60
	$i_{\max}$	76	76	77,6
	$f$	103	108	222
$i_0 = 120 \text{ A}$	$i_{\min}$	120	120	120
	$i_{\max}$	136	136	136
	$f$	210	215	420
$\tau = 500$				
$i_0 = 34,4 \text{ A}$	$i_{\min}$	34,4	34,4	34,4
	$i_{\max}$	47,2	47,2	49,2
	$f$	71,5	83,5	200
$i_0 = 60 \text{ A}$	$i_{\min}$	60	60	60
	$i_{\max}$	72	72	73,5
	$f$	125	143	320
$i_0 = 120 \text{ A}$	$i_{\min}$	120	120	120
	$i_{\max}$	132	132	132
	$f$	266	286	610

Из табл. 1 видно, что для двигателей серии П при исследовании в первом приближении можно пользоваться дифференциальным уравнением без учета индуктивности рассеяния шунтовой обмотки возбуждения. При этом ошибка в определении размаха пульсаций регулируемого тока практически равна нулю, а ошибка в определении частоты pulsa-



ций тока не превышает 20%. Пренебрегать же влиянием вихревых токов можно лишь в том случае, если необходимо определить только размах пульсаций тока. При этом ошибка не превышает 10%. Частота пульсаций тока в этом случае превышает действительную в несколько раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Болотов, А. П. Зайцев. Преобразователь постоянного тока в переменный. Авт. свид. № 311354. Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. Официальный бюллетень, 1971, № 24.
2. А. П. Зайцев, Ю. Ф. Михеев, Л. В. Волынцев. Устройство сравнения напряжений. Авт. свид. № 271574. Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. Официальный бюллетень, 1971, № 18.